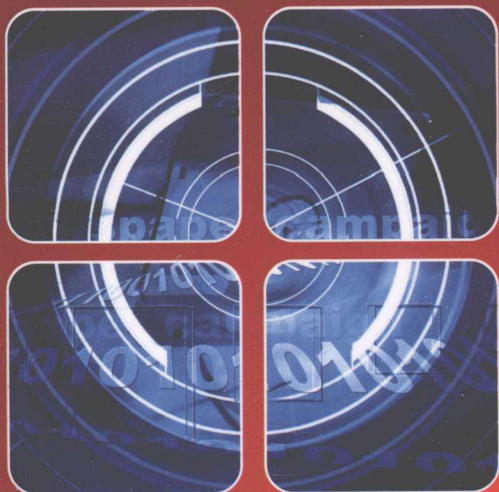


中国仿真科学与技术书系

“十一五”国家重点图书出版规划



SIMULATION SCIENCE

通信系统仿真

Communications System Simulation

吕跃广 主 编
方胜良 李世忠 王红军 副主编
宋德安 主 审

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划
中国仿真科学与技术书系

Communications System Simulation

通信系统仿真

吕跃广 主 编
方胜良 李世忠 王红军 副主编
宋德安 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了通信系统建模与仿真的基本理论、方法和实现技术，重点阐述了利用蒙特卡罗方法分析、研究通信系统的仿真方法。全书共分为3部分：基础理论、仿真工具和仿真实例。基础理论主要叙述仿真基础和通信系统基础；仿真工具首先概述当前通信用仿真工具，然后针对通信终端和通信网络重点介绍仿真工具；仿真示例则介绍具体的仿真案例。

本书可供从事通信系统论证、设计、研制、试验、生产等方面的工程技术人员阅读，也可作为高等院校的通信与电子信息类专业的教材使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

通信系统仿真 / 吕跃广主编. —北京: 电子工业出版社, 2010.3

(中国仿真科学与技术书系)

ISBN 978-7-121-09903-8

I. 通… II. 吕… III. 通信系统—系统仿真 IV. TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第211156号

责任编辑: 朱清江 特约编辑: 刘 忠

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.5 字数: 372千字

印 次: 2010年3月第1次印刷

印 数: 3500册 定价: 42.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

本书从基础理论、仿真工具和仿真实例 3 个方面深入浅出地阐述了通信系统建模与仿真的基本理论、方法和实现技术。全书共分 8 章，各章内容安排如下。

第 1 章绪论，重点阐述通信系统仿真的概念和层次，以及通信系统的重要作用。

第 2 章通信系统仿真基础，在阐述通信系统仿真原则和整体框架基础上，重点说明通信系统仿真的一些基础理论和方法，包括仿真中的概率统计、误差源、参数估计、性能指标评估、仿真的校正和验证等内容。

第 3 章至第 5 章根据通信系统仿真的不同层次，分别阐述通信网络、通信终端和通信信道的仿真，主要针对这 3 种层次描述如何进行通信系统的建模。其中第 3 章通信网络仿真，在介绍通信网络及仿真的概念和相关理论基础，重点阐述通信网络仿真的方法和建模过程；第 4 章通信终端仿真，在介绍通信终端及仿真的概念和相关理论基础，重点描述通信信号在接收机和发射机中整个处理过程的建模；第 5 章通信信道仿真，在介绍通信信道及仿真的概念和相关理论基础，重点描述通信信道的衰落过程和加噪过程。

第 6 章、第 7 章是通信系统仿真工具介绍，根据目前国内外常用的仿真工具应用情况，重点介绍 MATLAB、SystemView、OPNET、QualNet 和 NS2 等工具的特点、使用范围以及建模过程等内容。

第 8 章仿真示例，是以第一部分的仿真实论为基础，使用第二部分的仿真工具，结合一个具体的应用背景，介绍通信系统仿真的具体建模过程以及结果分析。

本书在撰写过程中，得到了许多同行和专家的鼓励和帮助。胡波、闫飞同志提出了宝贵建议；徐广、刘一利、涂本获同志为本书出版付出了极大的辛劳；杨正、丁鲲、王玮同志同样做了许多工作并提供了相当宝贵的资料。高新华、司秀华、顾有林、余莉、郝士琦、雷武虎也参加了本书的编写工作这里一并表示衷心的感谢。

最值得提出的是，本书引用和参考了很多文献，从中汲取丰富营养，可以说没有他们的研究，本书是难以问世的。在此，对这些中外专家、学者致以崇高敬意。同时还要感谢参与本书评价和审定的各位专家以及出版社的领导和同志们。

由于时间仓促和水平有限，错误之处在所难免。恳请读者提出宝贵意见。

编 者
2010 年 1 月

<h1>目 录</h1>	
第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统仿真历史	2
1.2 通信系统及其相关概念	3
1.3 通信系统仿真	5
1.3.1 概念	5
1.3.2 通信系统仿真的分类	6
1.3.3 通信系统仿真的流程	7
1.3.4 通信系统仿真的层次	8
1.3.5 通信系统仿真建模的原则与方法	9
1.4 通信系统仿真的应用与展望	14
练习题	14
第 2 章 通信系统仿真基础	15
2.1 通信系统仿真基本知识	16
2.2 通信系统仿真的体系结构与框架	20
2.2.1 通信系统仿真的体系结构	20
2.2.2 通信系统仿真框架	24
2.2.3 半实物仿真系统	25
2.3 仿真中的概率统计	27
2.3.1 通信系统中的随机现象	28
2.3.2 随机过程的建模	28
2.3.3 随机过程的理论基础	29
2.3.4 随机过程的计算机仿真	31
2.4 仿真中的误差源	34
2.4.1 网络建模误差	34
2.4.2 系统建模误差	34
2.4.3 设备建模误差	35
2.4.4 随机过程建模误差	35
2.4.5 处理误差	36
2.5 仿真中的参数估计	38
2.5.1 参数估计的基本概念	38
2.5.2 参数估计的方法	38
2.6 仿真中的性能指标评估	45
2.6.1 性能指标评估的前提	45
2.6.2 性能指标评估	45
2.7 仿真的校正和验证	50
2.7.1 仿真的校正	50
2.7.2 仿真的验证	51
练习题	53

第 3 章 通信网络仿真	55
3.1 概述	56
3.2 网络系统组成	59
3.2.1 通信网络拓扑结构	59
3.2.2 通信网协议	62
3.2.3 路由选择算法	63
3.3 网络仿真方法	67
3.3.1 网络模型构成	68
3.3.2 网络仿真建模流程	68
3.3.3 网络仿真过程	70
3.4 网络设备仿真建模	72
3.4.1 队列模型	73
3.4.2 路由算法模型	76
3.4.3 协议模型	77
3.4.4 应用数据生成模型	80
练习题	82
第 4 章 通信终端仿真	85
4.1 通信系统模型	86
4.2 信源及信源编码	87
4.2.1 信源	87
4.2.2 信源数字化	87
4.2.3 信源编码的仿真	89
4.3 通信信号的仿真表示	91
4.3.1 基带系统信号的仿真表示	91
4.3.2 通带系统信号的仿真表示	91
4.4 数字基带传输	92
4.4.1 数字基带传输概述	92
4.4.2 数字基带传输的基本波形	93
4.4.3 数字基带传输的常见码型	95
4.5 信道编码	96
4.5.1 奇偶监督码	97
4.5.2 循环码	98
4.5.3 卷积码	102
4.6 调制	105
4.6.1 模拟调制	106
4.6.2 数字正交调制	108
4.6.3 现代数字调制技术	111
4.7 解调	114
4.7.1 2ASK 信号解调	114
4.7.2 2FSK 信号的解调	115

4.7.3	2PSK 解调	118
4.7.4	2DPSK 解调	119
4.8	同步	119
4.8.1	载波同步	120
4.8.2	位同步	121
4.8.3	帧同步	122
	练习题	122
第 5 章	通信信道仿真	123
5.1	信道仿真概述	124
5.2	有线与波导信道仿真方法	124
5.3	基于经验的电波传播统计模型	125
5.3.1	Okumura 模型	125
5.3.2	Hata 公式	126
5.3.3	Egli 市区模型	126
5.3.4	Murphy 市郊模型	127
5.3.5	Rood 模型	127
5.3.6	ECAC 模型	127
5.3.7	Palmer 模型	128
5.3.8	中国国家标准场强预测模型	128
5.4	基于数值计算的电波传播模型	129
5.4.1	自由空间传播模型	130
5.4.2	两径传播模型	131
5.4.3	绕射传播模型	132
5.5	信道模型的仿真方法	135
5.5.1	概述	135
5.5.2	AWGN 信道	136
5.5.3	多径传播	137
	练习题	140
第 6 章	通信网络仿真平台	141
6.1	OPNET 仿真工具	142
6.1.1	OPNET Modeler 模块组成及功能	143
6.1.2	OPNET Modeler 工具特点	145
6.1.3	OPNET Modeler 使用范围	146
6.1.4	OPNET Modeler 建模过程	147
6.2	QualNet 仿真工具	149
6.2.1	QualNet 模块组成及功能	151
6.2.2	QualNet 工具特点	152
6.2.3	QualNet 使用范围	153
6.2.4	QualNet 建模过程	153
6.3	NS2 仿真工具	155

6.3.1	NS2 模块组成及功能	155
6.3.2	NS2 工具特点	158
6.3.3	NS2 使用范围	159
6.3.4	NS2 建模过程	161
	练习题	162
第 7 章	通信终端仿真平台	163
7.1	MATLAB 仿真工具	164
7.1.1	MATLAB 模块组成及功能	165
7.1.2	MATLAB 工具特点	166
7.1.3	MATLAB 使用范围	167
7.1.4	MATLAB 建模过程	170
7.2	SystemView 仿真工具	172
7.2.1	SystemView 模块组成及功能	172
7.2.2	SystemView 工具特点	176
7.2.3	SystemView 使用范围	178
7.2.4	SystemView 建模过程	179
7.3	WRAP 仿真工具	181
7.3.1	WRAP 模块组成及功能	181
7.3.2	WRAP 工具特点	183
7.3.3	WRAP 使用范围	184
7.3.4	WRAP 建模过程	185
	练习题	187
第 8 章	仿真示例	189
8.1	概述	190
8.2	网络系统仿真	190
8.2.1	网络建模	190
8.2.2	局域网性能分析示例	191
8.2.3	ATM 通信网络示例	195
8.3	终端仿真	200
8.3.1	终端建模	200
8.3.2	卫星通信终端示例	202
8.3.3	正交调幅数字无线终端仿真示例	219
8.4	信道仿真	232
8.4.1	信道建模	233
8.4.2	离散信道仿真示例	234
8.4.3	多径信道仿真示例	241
	练习题	247
附录 A	英文缩略语	249
附录 B	符号与名称	252
	参考文献	253

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 The History of Communications System Simulation	2
1.2 Communications System and Correlative Concept	3
1.3 Communications System Simulation	5
1.4 Application and Expectation of Communications System Simulation	14
Exercises	14
Chapter 2 The Base of Communications System Simulation	15
2.1 The Basal Knowledge of Communications System Simulation	16
2.2 The System Configuration and Framework of Communications System Simulation	20
2.3 Probability Statistic of Simulation	27
2.4 Error Fountain of Simulation	34
2.5 Parameter Estimate of Simulation	38
2.6 Capability Index Evaluation of Simulation	45
2.7 The Emendation and Validating of Simulation	50
Exercises	53
Chapter 3 Communications Network Simulation	55
3.1 Summarize	56
3.2 The Content of Network System	59
3.3 Network Simulation Methods	67
3.4 Modeling of Network Equipment Simulation	72
Exercises	82
Chapter 4 Communications Terminal Simulation	85
4.1 Communications System Models	86
4.2 Signal Fountain and Signal Fountain Coding	87
4.3 The Simulation Denotation of Communications Signals	91
4.4 Digital Baseband Transfers	92
4.5 Channel Coding	96
4.6 Modulation	105
4.7 Demodulation	114
4.8 Synchronization	119
Exercises	122
Chapter 5 Communications Channel Simulation	123
5.1 The Summarization of Channel Simulation	124
5.2 Lineate and Wave-guide Channel Simulation Method	124

5.3	Electromagnetic Wave Transmitting Statistic Model Based on Experience	125
5.4	Electromagnetic Wave Transmitting Model Based on Numerical Value Calculation	129
5.5	The simulation Method of Channel Model	135
	Exercises	140
Chapter 6	Communications Network Simulation Platform	141
6.1	OPNET Simulation Tool	142
6.2	QualNet Simulation Tool	149
6.3	NS2 Simulation Tool	155
	Exercises	162
Chapter 7	Communications Terminal Simulation Platform	163
7.1	MATLAB Simulation Tool	164
7.2	SystemView Simulation Tool	172
7.3	WRAP Simulation Tool	181
	Exercises	187
Chapter 8	Simulation Examples	189
8.1	Summarize	190
8.2	Network System Simulation	190
8.3	Terminal Simulation	200
8.4	Channel Simulation	232
	Exercises	247
Appendix A		249
Appendix B		252
References		253

- 通信系统仿真历史
- 通信系统及其相关概念
- 通信系统仿真
- 通信系统仿真的应用与展望

随着现代通信系统的飞速发展,计算机仿真已成为分析和设计通信系统的主要工具,在通信系统的研发和教学中具有越来越重要的意义。计算机仿真是衡量系统性能的工具,它通过构建模型的运行结果来分析实物系统的性能从而为新系统的建立或原系统的改造提供可靠的参考。通过仿真,可以降低新系统失败的可能性,消除系统中潜在的瓶颈,防止对系统中某些功能部件造成过盈的负载,优化系统的整体性能。因此,仿真是通信系统研究和工程建设中不可缺少的环节。

1.1 通信系统仿真历史

波形级的仿真是在 20 世纪 40 年代模拟计算机问世之后开始出现的,那时的计算机用来仿真飞机和武器系统中控制系统的运行情况。模拟计算机是应用于连续系统的一种模拟器,通过接线板连接到一组表示系统的框图配置中。其中的线性部件,如积分器和加法器,采用反馈直流运放实现;而非线性部件(如乘法器和三角函数),起初由机电伺服系统实现,随后用分段线性函数逼近来完成。任何一个具有常系统或时变系数、线性或非线性差分方程来描述的系统,都可以转化为由模拟计算机的元件组成的结构图。根据结构图把器件用线相连,并且用适当信号来激励模型,就可以用模拟计算机仿真出线性或非线性的一个宽范围的动态特性。

高速数字计算机的发展以及大容量存储器的出现,进一步推动仿真的应用。这种发展把建模领域带入到一些新的学科,例如数值分析和规化。大动态范围的浮点数表示法把使用者从信号尺度处理这种辛苦乏味的工作解脱出来。随着 20 世纪 60 年代早期结构语言(如 MIDAS, SCADS 和 CSMP 等)的出现,推动了数字仿真总体框架的形成。这些仿真语言都是以一个元件对应一条语句为基础,来效仿模拟计算机的行为。例如,加法器由一条相加的指令取代,而积分器则由一个积分子程序代替。元件间的内部连接由基于结构的语言来指定,就像模拟计算机的连线板和模拟计算机元件间的电连接一样。基于结构的仿真语言表示了这样一种想法,这就是像描述连续系统那样,用一种简单、方便的方法来描述模拟结构图。

用程序进行电路分析和仿真的数字计算机的应用,如在 20 世纪中期出现的 ECAP 和 SPICE,促进了数字集成技术和信号流程图在拓扑简化领域的发展。

离散时间系统和数字信号处理的发展已经把数字仿真系统推向了新的领域。在 20 世纪 60 年代晚期和 70 年代早期,出现了基于变换领域技术(频域快速傅里叶变换和时域双线性 Z 变换技术)的仿真软件包。在这个阶段,SYSTID、CSMP、CHAMP、LINK 以及其他一些软件包已经发展起来,为卫星通信链路分析和设计提供帮助。

SYSTID 最初的版本和其他类似的软件包是面向语言的,它们设计工作于批处理模式中;SYSTID 后来的版本和其他诸如 ICSSM 和 ICS 的程序包都是交互式的,至少部分是用菜单驱动的。使用上述软件包,在一台主计算机或超小型计算机上进行仿真,图形终端可用来提供有限量的交互式的预处理和后处理。

随着计算机软、硬件的不断发展,仿真的运算环境越来越友好,如提供高清晰的画面和图形界面。Boss 软件包首先把这种环境应用于工作站中,来创造一个友好的用户图形框架,

用在基于仿真的通信系统分析设计中。目前,使用的这一代仿真软件包(SPW、COSSAP、MATLAB/SIMULINK以及其他软件)提供交互式、图形化、友好的用户框架,以便使用图形化框图表述方式开发分层仿真模型;允许用户设定和运行波形级的仿真,检查仿真的结果,并且可以迭代执行。这些工具也可以提供数据库管理、在线帮助、在线文件以及其他的服务和特征。这些特征减少了通信系统工程师生成和调试仿真程序的工作量,以及必须了解被仿真通信系统物理机理等一些烦琐的工作。随着新一代仿真框架的运用,现在人们的注意力已经集中到诸如建模和仿真技术、性能的估计、计算效率等重要课题上,这些正是本书要研究的主要内容。

1.2 通信系统及其相关概念

通信系统可以简单地定义为:“为了完成某项通信任务,按照某些规律结合起来,互相作用、互相依存的所有物体的集合或总和,也可以指完成信息传递所需的一切设备及传输媒介的总和”。广义地讲,通信系统涵盖无线和有线通信系统,如卫星通信系统、移动通信系统和固定电话通信网等。

一个点对点数字通信系统组成如图 1-1 所示。

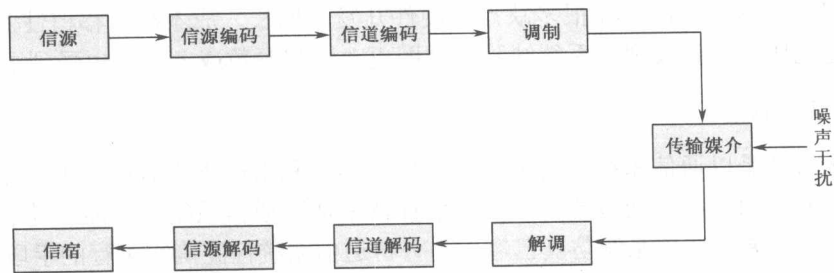


图 1-1 点对点数字通信系统

图 1-1 所示的系统是单向通信系统,但在大多数场合通信双方是收发兼备的,即为双向通信。如果双方有各自的传输媒介,则双方都可以独立地进行发送与接收;但若共享一个传输媒介,则必须用频率、时间或空间分割等办法来共享,即所谓的频分复用、时分复用和空分复用等。通信也不只是点对点通信,很多情况下是多点之间的通信,以完成信息的传输与交换,这就涉及多址技术与交换技术,这时整个通信系统就构成了一个通信网。

信息传递的有效性和可靠性是通信系统最主要的质量指标。对于数字通信系统,有效性可用一定信道条件下的信息速率来衡量,这方面的具体指标有波特率和比特率。波特率是指系统每秒传送的码元个数;比特率是指系统每秒传送信息的比特数,单位为 bps。当信道一定时,信息传输速率越高,有效性越高。数字通信系统的可靠性可用错误率来衡量,这方面的具体指标包括误码率和误比特率。可靠性和有效性是可以互换的,它们之间的关系遵从信息论中有名的香农公式。

在通信系统的发展过程中,逐渐涌现出三类分析通信系统性能的方法:借助于公式的解

析法、开发硬件样机和通信系统仿真。

1. 解析法

解析法又称为近似表达式法。

解析法首先对通信系统进行简化，然后建立数学模型，量化设计参数和系统性能间的关系，从而得到通信系统的性能。解析法一般用数学公式（近似式）定量地表示，如误码率（BER）和信噪比（SNR）之间的关系，或者发送波形的频谱特性。

解析法可以很快给出结果。但是为了获得容易处理的结果，解析法往往要在分析中做出许多近似的假设，导致产生的结果是近似的。对于某些复杂系统，甚至不能使用解析法，其原因就是不可避免的简化往往使得结果不准确。

在通信技术发展初期，通信系统比较简单，当时仿真工具也十分匮乏，因此，解析法起着举足轻重的作用。随着通信技术的不断发展，通信系统越来越复杂，这使得试图单纯使用公式推导出系统性能变得十分困难，甚至根本不可行。

2. 开发硬件样机

开发硬件样机的思路恰好与解析法相反，它通过建立实际的电路系统来实现通信系统，通过最实际、最客观的方式来描述系统的性能。在 3 种性能分析方法当中，开发硬件样机是最可信的。但是，这种方法存在很多缺点：硬件开发周期长、成本高、移植性差，而且硬件样机一旦搭建完毕，即使发现了系统缺陷，试图更改一些参数或者设置也受到很多限制等。

3. 通信系统仿真

通信系统仿真是以通信系统为对象建立模型，然后利用计算机对模型进行运算从而达到模拟实际通信系统的目的，通过建立一系列估计器来估计通信系统的性能。随着计算机软、硬件能力的飞速发展，通信系统仿真已经成为分析通信系统性能确实可行的手段。

仿真法特别适合对那些不能使用解析法、原型构造复杂的通信系统进行实验分析。仿真法也适合于系统性能分析模型的检查和验证，或者根据仿真结果建立分析模型。仿真法和解析法可以互相补足，也就是说仿真法也有缺点。

目前，在通信系统仿真中采用最多的是随机模拟法，也即蒙特卡罗（Monte Carlo）法。它是以概率论为基础，以统计实验为手段的一种分析方法。蒙特卡罗法的基本思想：首先建立一个概率模型或随机过程，利用它们的参数求得概率分布或数学期望等问题的解；然后通过对模型或过程的观察、抽样实验来计算所求参数的统计特征，并用算术平均值作为所求解的近似值。对于随机性问题，有时还可以根据实际物理背景的概率法则，用计算机直接进行抽样实验，从而求得问题的解答。

因为通信系统的许多指标具有随机性，如通信系统的误比特率就具有随机变量的数字特征，这是由于电子热运动引起的噪声是随机的。这时，在一定的信噪比下，1bit 信息通过通信系统后的正确率为 0.5。因此，用蒙特卡罗法分析研究通信系统是有效的。

蒙特卡罗法中要使用成千上万的随机数。仿真的次数也常常要成百上千次。就是说，蒙特卡罗法的计算量是巨大的，这就是蒙特卡罗法的缺点。但是计算机技术的迅速发展，为蒙

特卡罗法的广泛应用提供了有力的工具。

在上述3种通信系统评估方法当中,仿真出现的时间最晚,但却是当前应用最为广泛的。

第一,与解析法相比,仿真不需要考虑过于复杂的数学运算,避开了繁冗的公式推导。面对当前通信系统,特别是无线通信系统已经十分复杂的现实,试图单纯依靠数学推导获得精确的系统性能已基本不可能实现,因此,仿真成为了不可缺少的手段。与开发硬件样机相比,仿真开发时间短、成本低、移植性强、灵活性高,可以边仿真边发现问题,解决问题后再继续仿真,直到获得可行、可信的结果为止。

第二,即使解析法可以导出系统性能,也需要通过仿真对公式计算的结果进行验证;即使开发了通信样机,同样也需要通过仿真为样机开发提供数据作为参考对象,以检查样机各个模块是否运行正常。

第三,从当前实际通信系统的设计流程来看,仿真起着承前启后的作用。一方面,它可以为初期的公式推导做验证工作;另一方面,它提供数据以指导后期的硬件开发。仿真已经成为了通信系统设计中不可或缺的重要环节。

第四,从未来发展趋势来看,随着人们对通信质量要求的提高,通信系统势必越来越复杂,公式计算将越来越难以实现;与此同时计算机软硬件能力却在不断提高,仿真将越来越易于实现。可以预料,仿真将在未来通信系统设计中扮演越来越重要的角色。

1.3 通信系统仿真

1.3.1 概念

目前,通信技术的发展日新月异,通信系统建设可采用的技术有多种选择,同时通信系统的功能要求也越来越高,系统建设越加复杂,建设的经费不断增加。对于正在规划或设计中的通信项目,可以建立相应的通信系统模型,通过计算机仿真对设想中的通信系统进行多种方案设计和参数实验,预测未来系统的运行参数和经济效益,通过对仿真结果的分析,得到最佳化方案;对已有通信系统进行改进时,也可以通过系统仿真,模拟改进以后的系统运行情况,以寻求满意的改进方案。因此,通信系统仿真可以得到最佳系统参数或节省巨额投资。

实际的通信系统是一个功能结构相当复杂的系统,对这个系统做出的任何改变(如改变某个参数的设置、改变系统的结构等)都可能影响到整个系统的性能和稳定。因此,在对原有的通信系统做出改进或建立一个新系统之前,通常需要对这个系统进行建模和仿真。通过仿真结果衡量方案的可行性,从中选择最合理的系统配置和参数设置,然后再应用于实际系统中。

通信系统仿真实质上就是把硬件实验搬进了计算机,可以把它看成一种软件实验。在硬件实验系统中,用各种电子元器件制做出通信系统中的理论模型所规定的各个模块,再把它们通过导线或电缆等连接在一起,然后再用示波器、频谱仪、误码仪等通信仪表做各种测量,

最后分析测量结果。在软件实验中也是相同原理，只不过所有通信模块及通信仪表的功能都是用程序来实现的，通信系统的全过程在计算机中仿真运行。虽然软件实验不像硬件实验那样让人感到“真实”，但对于许多通信问题的研究来说的确非常有效。与硬件实验相比，软件实验具有如下一些优点：

- 1) 软件实验具有广泛的适应性和极好的灵活性；
- 2) 在硬件实验中改变系统参数也许意味着重做硬件，而在软件实验中则是修改一两个数据，甚至只是在屏幕上按一下鼠标；
- 3) 软件实验更有助于我们较为全面地研究通信系统；
- 4) 有许多问题，通过硬件实验来研究可能非常困难，但在软件实验中却容易解决；
- 5) 硬件实验的精确度取决于元器件及工艺水平，软件实验的精度取决于 CPU 的运算速度或者说是程序的运算量；
- 6) 软件实验建设开发周期短，成本低。

1961年，G.W.Morgenthater 首次对“仿真”进行了技术性定义，即“仿真意指在实际系统尚不存在的情况下对于系统或活动本质的实现”。1978年，Korn 在《连续系统仿真》中将仿真定义为“用能代表所研究的系统的模型做实验”。1982年，Spriet 进一步将仿真的内涵加以扩充，定义为“所有支持模型建立与模型分析的活动即为仿真活动”。1984年，Oren 提出了“仿真是一种基于模型的活动”的定义。随着科学技术的进步，“仿真”的技术含义还在不断地发展。

由仿真的定义可知，系统、模型与仿真三者是密切相关的，系统是研究的对象，模型是系统的抽象，仿真是通过对模型的实验以达到研究系统的目的。所以，仿真可以定义为：通过对模型的实验以达到研究系统的目的，或用模型对系统进行实验研究的过程。从广义上讲，仿真就是利用相似学的基本原理，通过研究某种事件来研究与之相似的另一种事件的过程。

1.3.2 通信系统仿真的分类

1. 按仿真模型分类

按照仿真模型的不同可以分为以下3种类型。

1) 计算机仿真：即数字仿真。仿真模型的建立完全采用数学模型，用数学语言去描述一个系统，并编写程序，在计算机环境中对实际系统进行研究。优点是灵活性强，便于改变系统结构和参数，效率高，重复性好。

缺点：对某些复杂系统可能难以建立精确模型。

2) 实物仿真：又称物理仿真或系统原型方法。指研制实体模型，重现原系统的状态。特点是全部使用实际系统部件，可以任意接近最后的系统。实物仿真与实际系统最接近，仿真结果最可信，但费用高，执行周期长。

缺点：风险大，灵活性差。

3) 半实物仿真：又称数学物理仿真或者混合仿真。

在条件允许的情况下尽可能在仿真系统中接入实物，以取代相应部分的数学模型，更接

近实际情况,得到更确切的信息,能够提高仿真结果的置信水平。这种仿真技术可扩展实物仿真的规模,也可以弥补计算机仿真精度不高的问题。

通过对系统仿真3种类型的描述,将其优缺点进行比较,其结果如表1-1所列。

表1-1 仿真类型对照表

仿真类型	特征	优缺点
计算机仿真	数学方式	优点:费用低、周期短、可控性好; 缺点:可信度低
实物仿真	原型方法	优点:可信度高; 缺点:费用高、周期长、风险大、灵活性差
半实物仿真	混合方式	仿真结果置信水平较高、费用较低、周期较短、风险较小、有一定的可控性

本书以介绍数字仿真方法和技术为主,以下没有特指的情况,一般都是指数字仿真。

2. 按仿真类型分类

按仿真类型,通信系统仿真可以分成离散事件仿真和连续事件仿真。在离散事件仿真中,仿真系统只对离散事件做出反应,而在连续事件仿真中,仿真系统对输入信号产生连续的输出信号。

(1) 连续事件仿真

连续系统是指系统状态随时间连续变化的系统,连续事件仿真的模型按其数学描述可分为以下两种:

- 1) 集中参数系统模型:一般用常微分方程(组)描述,如各种电路系统等;
- 2) 分布参数系统模型:一般用偏微分方程(组)描述,如电磁场问题。

(2) 离散事件仿真

离散事件系统是指系统状态在某些随机时间点上发生离散变化的系统,它与连续系统的主要区别在于:状态变化发生在随机时间点上。这种引起状态变化的行为称为“事件”,因而这类系统是由事件驱动的;而且,“事件”往往发生在随机时间点上,也称为随机事件,因而离散事件系统一般都具有随机特性;系统的状态变量往往是离散变化的。例如,电话交换台系统,用户呼号状态可以用“到达”或“无到达”描述,交换台状态则要么处于“忙”状态,要么处于“闲”状态;系统的动态特性很难用人们所熟悉的数学方程形式(如微分方程或差分方程等)加以描述,一般只能借助于活动图或流程图,这样,无法得到系统动态过程的解析表达式。对这类系统的研究与分析的主要目标是系统行为的统计性能而不是行为的点轨迹。

1.3.3 通信系统仿真的流程

通信系统的仿真依靠计算机软件的设计和运行,主要由需求分析、系统建模、数据定义/仿真、分析评估等几步组成,其关系如图1-2所示。